

# 水稻秧盘育秧播种技术与装备的研究现状及发展趋势

周海波<sup>1,3</sup>, 马旭<sup>2\*</sup>, 姚亚利<sup>4</sup>

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025; 2. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642; 3. 佳木斯大学机械工程学院, 佳木斯 154007; 4. 大庆油田龙丰实业公司, 大庆 163511)

**摘要:** 该文在收集、整理并研究国内外关于水稻秧盘育秧播种技术与装备的基础上, 按照播种流水线的结构特点和工作原理进行分析归纳, 系统地总结了每一类机型的研究现状, 详细分析了播种、排土和秧盘同步传动等技术难点, 以及主要部件采用的工作原理、技术参数和所能达到的性能指标, 通过对现有机型特点的分析比较, 给出了各类机型的适用范围。最后, 根据水稻插、抛秧种植的农艺要求, 尤其是中国超级杂交稻种植技术的要求, 提出适合于超级杂交稻精密播种的新型育秧系统, 上述研究为适用于中国传统水稻育秧, 以及发展中的超级杂交稻低成本高速精准秧盘育秧播种技术研究提供参考。

**关键词:** 水稻育秧播种; 精密播种; 秧盘育秧; 超级杂交稻

**中图分类号:** S233.71

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-4-0301-06

周海波, 马旭, 姚亚利. 水稻秧盘育秧播种技术与装备的研究现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 301-306.

Zhou Haibo, Ma Xu, Yao Yali. Research advances and prospects in the seeding technology and equipment for tray nursing seedlings of rice [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 301-306.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

目前水稻种植技术主要有两种模式, 即水稻直播和育秧移栽技术, 美国、澳大利亚、意大利及其他欧美国家主要采用直播种植, 而亚洲地区则以能实现高产的育秧移栽种植为主<sup>[1]</sup>。在水稻育秧移栽种植技术中, 秧盘育秧是关键环节之一, 为实现水稻抛、插秧栽植机械化, 需研制用于钵体苗和毯状苗两种类型的秧盘育秧播种流水线, 这是实现水稻种植机械化的重要保障。随着工厂化秧盘育苗技术的推广, 以及在蔬菜、花卉秧盘育苗方面研制出较成熟的设备基础上, 亚洲的日本、韩国等从 20 世纪 70 年代开始研发适用于水稻秧盘育秧的播种设备。国内也在消化吸收国外育秧播种设备基础上, 从 20 世纪 80 年代起开始研制水稻育秧流水线, 随着水稻新品种的出现, 水稻育秧工艺不断改进与完善, 近年来国内外水稻秧盘育秧播种流水线的机械化及自动化水平也在逐步提高。

## 1 国内外秧盘育秧播种流水线的现状

水稻秧盘育秧流水线作为水稻育秧机械化的主要研究装备, 经过 30 多年的发展历程, 在满足不同地区水稻种植农艺要求的条件下, 已有了较大发展, 较完备的播种育秧流水线主要包括秧盘供送、铺底土、压实、播种(撒播、条播、精播)、覆表土、淋洒水、取秧盘等关键工序, 其发展的现状如下:

国外, 以直播机械化为主的欧美国家研制出来的水稻秧盘育秧播种的设备比较少, 目前用于蔬菜、花卉等植物的温室秧盘育秧播种流水线已有多种, 如 Blackmore System、Marksman、Speedling System、Hamilton 等机型, 设备普遍采用吸针式, 每穴 1~5 粒不等, 作业质量较好, 功能全, 自动化程度较高, 如图 1 所示为美国 Marksman 公司的蔬菜育秧流水线。亚洲的水稻秧盘育秧流水线比较多, 像日本的井关、久保田、日清、三菱等株式会社都有自己的育秧播种设备, 其工艺精湛、自动化程度高, 但价格昂贵, 且这些流水线多数是针对常规稻 3~6 粒/穴和杂交稻 2±1 粒/穴的盘育秧, 采用的播种部件主要有机械式(槽轮、窝眼和型孔)和气力式(吸针、吸盘和滚筒)。韩国的育秧技术水平与日本接近, 但用于蔬菜等经济作物的育秧技术较好。

国内水稻育秧播种技术进展迅速, 简单实用的育秧设备相继涌现。20 世纪 80 年代初国内主要采用机械式播种方式, 研制单位有中国农业大学、黑龙江省农垦科学

收稿日期: 2007-07-25 修订日期: 2007-11-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50775078); 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD28B01)

作者简介: 周海波(1973—), 男, 黑龙江省肇东人, 博士生, 从事农业机械智能设计工作。长春 吉林大学生物与农业工程学院, 130025。

Email: haibo\_zhou@163.com

\*通讯作者: 马旭(1959—), 男, 辽宁省沈阳人, 教授, 博士生导师, 从事农业机械设计与检测技术研究。广州市天河区五山路 483 号 华南农业大学工程学院, 510642。Email: maxu1959@scau.edu.cn

院工程所、嵊州市农机管理总站、黑龙江省二九一机械厂和灵川县农机技术推广站等多家,比如 2ZBZ-600 型水稻穴(平)盘育秧流水线<sup>[2]</sup>,采用的播种部件为外槽轮式播种器;90 年代起研制振动式原理的播种流水线(图 2)<sup>[3]</sup>,对播种质量有较大的提高;90 年代后期,随着钵体苗移栽技术的发展,水稻钵体育秧技术有了较大的发展,中国农业大学、广西北海市农机化研究所、吉林大学、华南农业大学、江苏大学、山东理工大学、农业部南京农机化研究所、解放军军需大学、八一农垦大学等都开始进行钵体育秧技术研究,并以气吸式播种方式为主,可以实现精少量播种,如 2QB-330 型气吸振动式秧盘精量播种机<sup>[4]</sup>,是国内播种部件采用吸盘式的代表;为解决气力式吸孔堵塞问题,1999 年研制的 2ZBQ-300 型双层滚筒气吸式水稻播种机<sup>[5]</sup>。

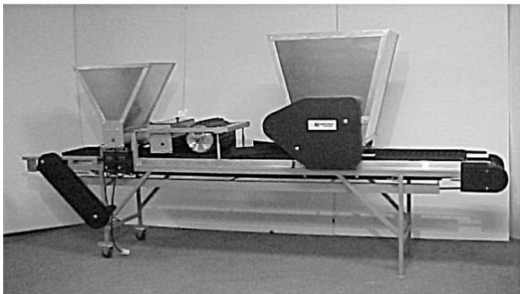


图1 Marksman公司的蔬菜育秧流水线  
Fig.1 Pipelining of vegetable nursing seedlings of Marksman Co.



图2 2BZ-300型电磁振动式水稻育秧播种机  
Fig.2 Electromagnetic vibrating rice nursing seedlings seeder of 2BZ-300 type

## 2 水稻秧盘育秧播种流水线的关键技术现状

水稻秧盘育秧播种流水线主要由供/接送秧盘、铺/覆土、压实、播种、淋洒水等装置和秧盘组成,以前的核心技术仅是播种,而今除涉及播种器的精量取种外,能否保证准确投种、排土均匀也是秧盘育秧流水线的关键技术。

### 2.1 秧盘育秧精密播种装置

按播种装置的结构形式和工作原理分类,水稻育秧播种器主要有机械式、振动式、气力式等。

#### 2.1.1 机械式播种装置

水稻秧盘育秧机械式播种器主要以槽轮式、窝眼轮式或型孔式为核心工作部件,槽轮式属于撒播或条播(见图3),窝眼轮式(见图4)或型孔式(日本三菱重工业株式会社的双工位型孔式播种器<sup>[6]</sup>)属于穴播,从结构形式可以看出,机械式播种器具有机构简单,造价低,生产率高等特点,但为保证充分充种,种槽的结构尺寸相对都比较大,播种量可达2~7粒/穴(或取秧面积),对播种量控制不算严格,而且伤种现象也比较严重,针对常规水稻的大排量育秧播种效果较为理想,也是国内外应用较广的一类播种器。

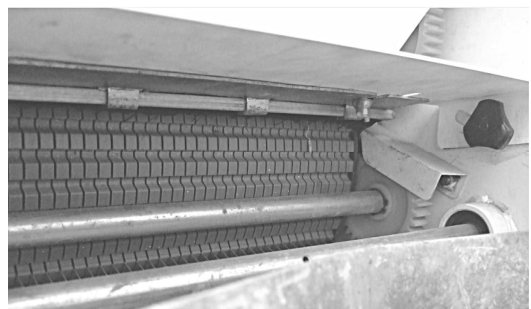


图3 外槽轮式播种器  
Fig.3 Picture of external force feeding seeding device



图4 窝眼轮式播种器  
Fig.4 Picture of socket-roller seeding device

#### 2.1.2 振动式播种装置

图 5 所示为 2BZ-300 型电磁振动式水稻育秧穴盘播种器的播种器示意图,具有机械结构比较简单、不伤种、槽轮定量供种可保证播种量可调等特点<sup>[3]</sup>,通过试验验证,影响排种速度的因素不仅有水稻种子千粒重及形状,还包括振幅、频率、振动倾角、排种盘幅宽及弹簧钢度等,都会直接影响到排种盘里各 V 形槽中种子流的连续性和统一性,有断流和落种窜穴现象,造成上述的播种误差;为了进一步保证播种的精量程度,西南农业大学还研制出了光电控制穴盘精密播种装置<sup>[7]</sup>,采用光电控制和电磁振动结合不仅实现所需粒数的精量播种,而且为定量供种且不伤种提供了新思路,精度得到了提高,但生产效率低。

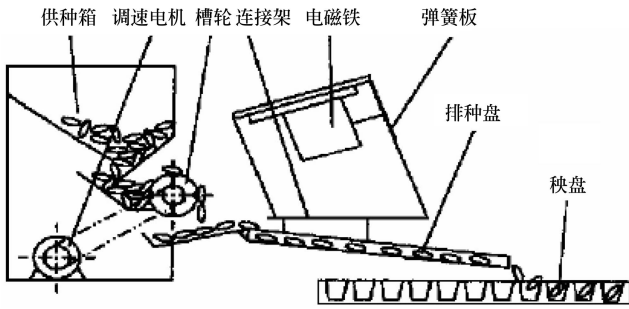


图 5 电磁振动式播种器  
Fig.5 Schematic diagram of electromagnetic vibrating seeding device

2.1.3 气力式播种装置

目前用于水稻育秧的气力式播种装置主要采用气吸方式，气吸式播种器主要有吸针式、吸盘式和滚筒式。

水稻吸针式播种器一般采用往复摆动式机构带动吸嘴，主要用于单粒播种（吸种部件结构简图见图6），精度比较高，文献[8]从理论上详细分析了影响吸种性能的主要因素有吸嘴直径、吸嘴端部结构形式、气室真空度，试验采取A型结构吸嘴，孔径为1.0 mm，真空度为0.012 MPa，工作频率为30 r/min，播种精度可达单粒率>96%，重播率<3%，空穴率<1%，为保证充种，目前的工作频率提高范围不大，单排吸针生产效率仅能达到100盘/h左右，另外对于吸孔堵塞也是吸针式播种器不容忽视的问题，对于水稻种子，所需的吸嘴孔径一般在1~2 mm左右，又因为发芽后的水稻细小杂质较多，极易堵塞吸嘴，目前除风力外，因吸针细长，还没有强制通孔措施；而蔬菜、

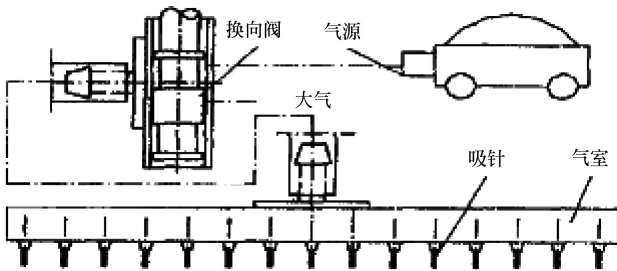


图 6 吸针式吸种部件结构示意图  
Fig.6 Schematic diagram of suction needles seeding device

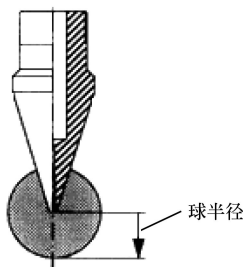


图 7 同球面的流速相  
Fig.7 Schematic diagram of the same air velocity on spherical surfaces

花卉等圆形小粒种子，外型比较规则，杂质也很少，一般不需要芽播，因此吸针式播种器主要用于蔬菜、花卉等经济作物的育秧精量播种。文献[9]还发现了以吸嘴为中心的球形流场（图7），不同形状种子所需吸针距种盘的抬起距离模型，压力继续升高时，抬起距离不再发生明显变化，为气源的选择和种盘的安装提供依据。

水稻吸盘式播种器国内外研究的学者比较多，对吸盘式播种器的结构形式及其上的穴孔形状、大小、小孔数量和孔径的研究也多样。像2QB-330型气吸振动式秧盘精量播种机属于单工位吸盘式播种器、意大利巴里大学的带吸嘴的吸盘式播种器<sup>[9]</sup>（图8）等，从工作过程看，气力吸种盘工作行程长，往返运动及定位排种使速度不平稳，易使吸附不牢的种子中途掉下，造成空穴，而且由于长期吸种，吸孔容易出现堵塞，这些缺陷对吸种效果均有很大影响。后来针对吸盘式的不足之处，西南农业大学将机械式振动改为电磁式激振机构，吸种效果有所提升<sup>[4]</sup>；江苏理工大学还针对播种装置的振动台面的振动频率和气力吸种部件进行了深入研究，试验给出了播种装置的工作参数，但通过试验结果可以看出，吸种盘式播种器内部的压力分布不均，流场变化不稳定，吸种效果受风量和不稳定流场压力变化等因素影响严重<sup>[10-11]</sup>；为保证箱体内流场压力均等，黑龙江八一农垦大学在吸盘内部还设计了带有窗型孔的内隔板，来进一步控制流场的稳定性<sup>[12]</sup>；在解决吸孔防堵方面，西南农业大学还提出了设计有对位通针装置的吸盘<sup>[13]</sup>。总之，吸盘式的主流线还是间歇作业，在保证充分吸种和吸盘稳定携种过程中，通常双工位生产效率仅为300盘/h，生产效率不算高。

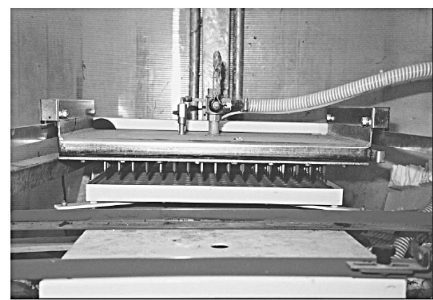


图 8 带吸嘴的吸盘式播种器  
Fig.8 Picture of seeding device with suction chamber

气吸滚筒式播种器在水稻、玉米、大豆、蔬菜和花卉秧盘育秧精密播种设备中均有应用，像美国 Marksman 公司的蔬菜育秧流水线采用的小滚筒播种器，日本和国内等都有此类播种器<sup>[5, 14-16]</sup>，图 9 为 2ZBQ-300 型水稻育秧播种流水线所使用的双层滚筒气吸式播种器，其内层吸孔孔径为 4.0 mm，外层孔径为 1.2 mm，壁厚为 0.02 mm，试验表明，气吸式双层滚筒播种器能够有效的解决吸孔堵塞的问题，其性能指标可达到：在真空度为 0.003 MPa

情况下,空穴率 $<5\%$ ,入穴率 $94\%$ ( $1\sim 4$ 粒标准),生产率 $550$ 盘/h,该播种器能实现连续吸/排种,并且保证播种育秧流水线连续运行,生产率高。

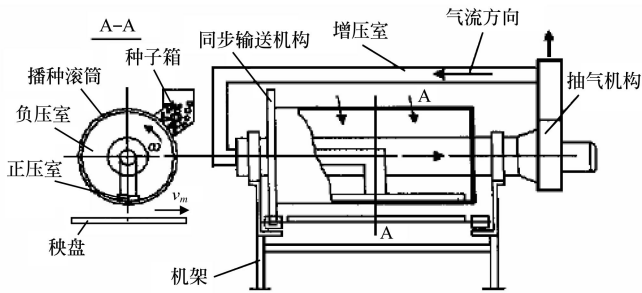


图9 气吸双层滚筒式播种器

Fig.9 Schematic diagram of air-suction two-layer cylinder seeding device

## 2.2 秧盘育秧同步播种控制

秧盘育秧播种不仅需要播种器能精量取种,而且还要使播种器投出的种子能准确地落入到秧盘对应穴坑中,通过这样的同步控制才能更好地保证钵体盘每穴或每盘对应单位面积有准确数量的种子,进而满足精密播种的育秧要求。

采用大排量机械式播种装置的常规稻秧盘育秧设备,因播种器是将种子漫撒在秧盘上,落种随机性比较大,且窜穴,一般不要求穴坑与所播出的种子完全同步对中。

对于杂交稻精少量育秧播种流水线,其位置控制方法一般依靠链条节距与穴距相匹配,实现秧盘穴坑与播出的种子一一对应<sup>[5]</sup>,但由于受链条节距限制,采用的秧盘每排穴距尺寸并不是最理想的,尽管这种装置结构简单,但适应的秧盘尺寸单一。在投种位置控制方法上,还有采取电磁离合器与曲柄摇杆相结合<sup>[8]</sup>或者利用伸缩挡块与气缸马达摆动相结合来定位秧盘实现同步播种<sup>[17]</sup>,但由于采用往复播种方式,工作效率偏低,控制结构较复杂,通常用于花卉、蔬菜等产出高的经济作物育秧。另外美国 Marksman 公司采用光电传感器和多个步进电机相结合来实现蔬菜、花卉的同步控制,技术先进,但电机数量偏多,且价格较昂贵。

## 2.3 铺/覆土装置

为了全面提高水稻育秧技术水平,对铺底土和覆表土的技术要求也越来越高,保证铺/覆土厚度及其均匀度已成为保证育秧质量的重要指标之一。铺/覆土装置一般由土箱、排土机构、传动机构、土量控制机构、导流板等部分构成,其中排土机构是铺/覆土装置的核心部分。按排土机构的结构形式的不同,目前主要有平皮带式、槽轮式、大直径波纹滚筒、V形推土片大直径滚筒、刮板式等铺/覆土装置以及泥浆铺土装置。

日本和韩国大部分育秧播种设备均采用平皮带式,

如日本久保田株式会社的 SR500A 型育秧播种机、韩国国际育秧播种机等。国内应用的形式比较多,2BPS-300型和 2BDY-500 型水稻育秧播种机<sup>[18, 19]</sup>,以及广东省科利亚公司的育秧系统等采用的都是平皮带式铺/覆土装置;2BZ-300 型电磁振动式水稻育秧穴盘联合播种机采用了左右双头四螺旋槽轮式铺/覆土装置;2ZBZ-600 型水稻播种机还采用了大直径波纹滚筒的铺/覆土装置等。

各种形式铺/覆土装置的实际应用效果如下:平皮带式铺/覆土装置是应用比较多的一类,但是当皮带速度过快时,土壤与皮带之间会出现打滑现象,如果在外表面增设防滑横条,会增大排土量;槽轮式铺/覆土装置除受土壤湿度影响易发生粘附现象外,当转速加快时,也容易出现土壤架空等现象,主要适用于土壤湿度小和生产速度较低场合。针对排土量不足,又有学者试制出刮板式和 V 形推土片大直径滚筒的铺/覆土装置<sup>[20, 21]</sup>,为了减少尘土飞扬,不污染环境,2ZBQ-300 型双层滚筒气吸式水稻播种机采用了泥浆铺土装置,结构较复杂,种子易漂浮于泥浆之上,填满泥浆的秧盘重量大,搬运不便,现场环境和设备卫生较差。

## 2.4 秧盘

配套的秧盘从材料和规格方面也不尽相同,塑料秧盘按照经济性和使用情况看,硬塑秧盘一般价格为 $15.0\sim 18.0$ 元/个<sup>[22]</sup>,费用高,较少使用;硬化软塑秧盘价格虽然是硬塑秧盘的五分之一左右,但费用仍较高,使用越来越少;PVC 软塑秧盘价格最低(仅 $0.3\sim 0.8$ 元/个),但因其薄软易变形,一般需要托盘支撑,是现今使用较多的一类,如浙江理工大学的 $16\times 26$ 穴和中国农业大学的 $15\times 25$ 穴秧盘及 $300\text{ mm}\times 600\text{ mm}$ 平秧盘等。还有采用以稻草为原料研制的一次性秧盘,为增产和环保提供了新思路<sup>[23]</sup>。

## 3 水稻秧盘育秧播种技术与装备的发展趋势

随着水稻新品种的研发和种植技术的不断发展,原有的常规水稻、杂交稻即将被单产 $10.5\sim 12.0\text{ t/hm}^2$ 的超级水稻品种所替代,种植要求以精量播种、培育壮苗、宽行稀植、定量控苗、好气灌溉、精确施肥、综合防治等技术为核心的超高产集成技术相配套<sup>[24]</sup>。这就标志着水稻秧盘育秧播种技术与装备也需进一步提高,技术要求由原来杂交稻 $2\pm 1$ 粒/穴(或取秧面积)的精少量播种提升为精准(播种数量精量和投种位置准确)播种,并且要求超级杂交稻秧盘育秧精密播种设备应具有适应高速、投种位置准确、排土均匀及带芽播种的性能,即 $1\sim 2$ 株/穴(或取秧面积),合格率达到 $80\%\sim 90\%$ 以上,芽长小于 $3\text{ mm}$ ,达到设计制造简单、降低农户成本的目的。

### 3.1 秧盘育秧精密播种装置

以传统机械式播种器为核心技术的水稻育秧流水线,虽然具有结构简单、造价低,能连续生产,效率高

的特点,但由于其用种量大和落种随机性大,播种均匀性差,机械磨擦和挤压作用易伤种等特点都是不可避免的缺陷,不易满足超级杂交稻机播作业的精播、不伤种的农艺要求,只能适用于常规稻和杂交稻的播种育秧作业。对于经济欠发达和适宜普通水稻种植作业区,机械式育秧播种流水线仍然是较理想的选择机型。

采用振动方式播种时,定量供种、保持排种盘里各V形槽中种子流的连续性和统一性、对穴同步播种等方面都是传统设计过程中的难点所在,如果借鉴水稻直播的电磁定量供种技术<sup>[25, 26]</sup>,可防止供种损伤,进一步提高种子流控制策略,避免断流和窜穴,稳定保持高速生产的同步播种,则对于水稻秧盘育秧播种是一种极有前途的生产方式。

气吸式原理的水稻育秧播种器具有吸种数量可控、对种子外形尺寸要求不严、不伤种、播种均匀度好、整机通用性好和便于控制等优点,特别是对芽长1~3 mm的水稻种具有更好的保护作用,已成为秧盘育秧精密播种设备的主要研究方向,研制出来的机型从实用性和经济角度看各有优缺点,总体趋势是由复杂向简单、实用的方向发展。国内采用吸针和吸盘式播种装置的育秧播种流水线虽然投种定位精度比较高,但一般都是经过吸种到投种再到吸种的单工位往复播种,若改进为双工位交替播种,效率会有所提升,成本和能耗也会增加,因此比较适合用于播种和投种精度要求都比较高、生产率不高的作业场合。而能够实现连续播种、保证主流线连续运行、同传统的机械槽轮旋转运动相类似的气吸滚筒式播种装置,实现原理是在吸针式基础上的周向集成,既具有吸针的精量吸种、定位投种的特点,同时穴坑的形状、孔径和数量的变化,不仅能保证精量播种(如1~4粒/穴(或取秧面积)的数量可控),又具有同主流线保持同步、运转平稳、筒内气体流场稳定、真空度低、耗气量小、便于提速等优点,是国内较新并与国外先进技术相靠近的一种机型,如果能进一步改进供种措施(如借鉴水稻振动定量供种技术),设计筛分除杂和强制通孔装置,并采取简单实用的高速同步播种控制技术,则气吸滚筒式秧盘育秧播种流水线将是今后适应超级杂交稻低成本高速精准育秧播种设备的主要研制机型。

### 3.2 秧盘育秧同步播种控制

目前还需应用机、电、气等技术,利用气缸限位等方法研究并配备简单实用的低成本秧盘育秧同步播种控制系统,以满足高速育秧精准播种的要求。另外采用振动或机器视觉<sup>[27]</sup>等先进技术,用来识别种子的形态,并实现种子的精量提取和在秧盘上有规律的摆放,也将是今后高科技育秧播种器的研究热点。同时对于毯状秧盘在铺底土后,为了防止种子触土后的弹跳滚动,可以增加压沟工序,采用压沟和振动相结合,在沟底产生薄层

细土,设计防滚屏障<sup>[28]</sup>,更进一步保证投种位置的精确性。对满足抛秧作业的钵体秧盘在铺底土后,也有要求压实底土,由于软塑秧盘不同以往的硬塑盘,盘体较软,不易推动从动辊压穴,需要压穴辊主动转动压穴,因此为保证与输送秧盘同步,控制压穴定位精度也是今后使用软塑秧盘进行水稻育秧播种急需研究解决的问题。

### 3.3 铺/覆土装置

以往的铺/覆土装置都采用相同的形式,仅通过开口量的大小调节排出的土量,实际上应根据铺/覆土工序所需土量的多少和水分含量的高低等因素,选择不同形式的排土装置,会达到较理想的效果。

## 4 结 语

我国幅员辽阔,各地区经济发展不平衡,秧盘育秧的条件差异较大,在实际应用中,应因地制宜选择水稻育秧播种技术与装备,同时对现有秧盘育秧播种流水线加强改进,针对不同水稻品种的育秧工艺要求,选择恰当的播种器。

研究更加精密的播种器,研究更加简单实用的同步播种控制系统和铺/覆土装置,尽快满足新品种高产稻的盘育秧播种需求,进一步完善秧盘育秧播种体系,使所育秧苗与移栽机械相配套,降低制造成本。

随着我国超级杂交稻种植的推广,能适应其农艺要求的育秧播种技术及装备将是今后水稻秧盘育秧精密播种研究的主攻目标,因而需要尽快研制性能优良、工作可靠的新型精密育秧播种设备,使水稻秧盘育秧播种流水线向着轻型化、高速化、高精度、高自动化、低成本的方向发展。

### [参 考 文 献]

- [1] 宋建农,庄乃生,王立臣,等. 21世纪我国水稻种植机械化发展方向[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(2): 30-33.
- [2] 王立臣,刘小伟,魏文军,等. 2ZBZ-600型水稻播种设备的试验与应用[J]. 农机化研究, 2000, (1): 70-72.
- [3] 李志伟,邵耀坚. 电磁振动式水稻穴盘精量播种机的设计与试验[J]. 农业机械学报, 2000, 31(5): 32-34.
- [4] 邱兵,张建军,陈忠慧. 气吸振动式秧盘精播机振动部件的改进设计[J]. 农机化研究, 2002, (2): 66-67.
- [5] 庞昌乐,鄂卓茂,苏聪英,等. 气吸式双层滚筒水稻播种器设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 52-55.
- [6] 小林悦男,小田富広,重光裕昭. ドラム揺動式播種装置[P]. 日本专利: 8322332A, 1996-12-10.
- [7] He Peixiang, Yang Mingjin, Chen Jian, et al. Photoelectric controlled metering device of electromagnetic vibrating type[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(5): 84-86.
- [8] 刘彩玲,宋建农,张广智,等. 气吸式水稻钵盘精量播种装置的设计与试验研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(2): 43-46.

- [9] Guarella P, Pellerano A, Pascuzzi S. Experimental and theoretical performance of a vacuum seeder nozzle for vegetable seeds[J]. *J Agric Eng Res*, 1996, 64: 29-36
- [10] 李耀明, 刘彩玲, 陈进, 等. 水稻育苗播种装置气力吸种部件的研究[J]. *农业机械学报*, 1999, 30(6): 46-50, 101.
- [11] 李耀明, 邱白晶, 陈进, 等. 气吸振动式水稻播种试验台的振动分析[J]. *农业机械学报*, 1998, 29(3): 43-47.
- [12] 张清华, 董晓威, 张吉军, 等. 基于稻草制造钵育秧盘水稻栽植机的研究[J]. *机电产品开发与创新*, 2004, 17(3): 36-38.
- [13] 邱兵, 张建军, 陈忠慧. 水稻穴盘精播机气力吸种部件防堵装置[J]. *农业机械学报*, 2003, 34(5): 175-176, 180.
- [14] 梶昌幸. 吹零し播種方法とその装置[P]. 日本专利: 3297308A, 1991-12-27.
- [15] 宋建农. 针状气吸式精密播种装置[P]. 中国专利: 01222990.3, 2002-01-30.
- [16] 吴文福, 左春桢, 阎洪余, 等. YB-2000型筒塑秧盘自动精密播种生产线的研制[J]. *农业工程学报*, 2001, 17(6): 69-72.
- [17] 叶盛, 王俊. 气吸式精量播种控制器[P]. 中国专利: 200520101391.2, 2006-10-11.
- [18] Wang Yuxing, Luo Xiwen, Xiang Weibing. Research on paddy seedling ordered pneumatic throwing transplantation[J]. 2002 ASAE Annual Meeting, 2002, Paper number 021060.
- [19] 张晋栋, 杨晓明, 杜之玫, 等. 2BDY-500形水稻育秧盘播种机及控制电路的设计[J]. *农机化研究*, 2001, (2): 81-83.
- [20] 郑丁科, 李志伟, 蔡明辉. 刮板式水稻育苗平盘播土装置的设计与试验[J]. *农机化研究*, 2006, (7): 154-157
- [21] 张文坛. 水稻工厂化育秧播土装置设计及床土厚度检测技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [22] 马瑞峻, 区颖刚, 王玉兴, 等. 穴盘水稻秧苗机械抛栽的农艺要求[J]. *华中农业大学学报*, 2003, 22(1): 55-59.
- [23] 汪春, 张锡志, 丁元贺, 等. 基于稻草制造钵育秧盘水稻栽植机的研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(8): 66-69.
- [24] 袁隆平. 超级杂交稻研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
- [25] 杨坚, 阳潮声. 分流式振动排种器性能影响因素分析[J]. *农业机械学报*, 2003, 31(4): 106-108.
- [26] 张学义, 邵耀坚, 邹黎, 等. 电磁振动排种器种子运动分析及试验研究[J]. *农业工程学报*, 1996, 12(1): 81-86.
- [27] Kim D E, Chang Y S, Kim H H, et al. An automatic seeding system using machine vision for seed line-up of cucurbitaceous vegetables[J]. An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 061206.
- [28] 袁锐. 精密播种机开沟器对种子触土后位移的控制及部件的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.

## Research advances and prospects in the seeding technology and equipment for tray nursing seedlings of rice

Zhou Haibo<sup>1,3</sup>, Ma Xu<sup>2\*</sup>, Yao Yali<sup>4</sup>

- (1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China;  
2. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment (South China Agricultural University), Ministry of Education, Guangzhou 510642, China;  
3. College of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi 154007, China;  
4. Longfeng Industrial Company in Daqing Oil Field, Daqing 163511, China)

**Abstract:** After having gathered and summarized the technology and equipment for rice precision seeding of tray nursing seedlings at home and abroad, the paper summarized systemically the current research status of every kind machine type and analyzed particularly the technology difficulty in seeding, soil-spread and synchronous transmission of tray, and adopted work principles, technical parameters and performance index to be achieved, based on the structure characteristics and work principles of seeding pipelining. The application scope was confirmed by analyzing the characteristics of the existing machine types. A new type nursing seedlings system fitting for precision seeding supper hybrid rice was put forward based on the agronomic requirements of the rice planting and throwing transplanting and more especial supper hybrid rice planting technology in China. The above research provides technical references for traditional rice nursing seedlings and low cost, high velocity, precision tray nursing seedlings of developing supper hybrid rice.

**Key words:** rice nursing seedlings seeding; precision seeding; tray nursing seedlings; super hybrid rice